

## PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 13314J	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/FI00/00420	International filing date (day/month/year) 10.05.2000	Priority date (day/month/year) 11.05.1999
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <sub>7</sub> G03B 19/00, G03B 21/00 // H04N 13/00, G03B 1/42		
Applicant Teknillinen Korkeakoulu et al		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 3 sheets, including this cover sheet.
- ☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).
- These annexes consist of a total of 5 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand  04.12.2000	Date of completion of this report  14.08.2001
Name and mailing address of the IPEA/SE Patent- och registreringsverket. Box 5055 S-102 42 STOCKHOLM Facsimile No. 08-667 72 88	Authorized officer  Björn Kallstenius / JA A Telephone No. 08-782 25 00

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/FI00/00420

## I. Basis of the report

## 1. With regard to the elements of the international application:\*

- ☐ the international application as originally filed
- ☒ the description:  
pages 1-12, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☒ the claims:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement) under article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages 14-18, filed with the letter of 04.07.2001
- ☒ the drawings:  
pages 1-3, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.  
These elements were available or furnished to this Authority in the following language english which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☒ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rules 55.2 and/or 55.3).

## 3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheet/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2 (c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are annexed to this report since they do not contain amendments (Rules 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item I and annexed to this report.

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/FI00/00420

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	<u>1-26</u>	YES
	Claims	_____	NO
Inventive step (IS)	Claims	<u>1-26</u>	YES
	Claims	_____	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	<u>1-26</u>	YES
	Claims	_____	NO

### 2. Citations and explanations (Rule 70.7)

Cited documents: DE 19649281 A1, FR 2741960 A3, EP 0458463 A1, GB 1439152 A and DE 2629233 A1.

The invention relates to a camera system with an around an optical axis of the system rotationally symmetrical concave spherical photosensitive surface coincident with the image surface of the imaging system. The invention also comprises a display device for the images produced by the camera system

The aim of the invention is to improve the illumination and to reduce the distortion of the images produced.

This is achieved by arranging the detecting elements on the image surface so that their density is at a maximum on the optical axis and diminishing from that axis towards the edge zones of the image surface.

This feature is not revealed by any of the cited documents and cannot be considered obvious to a person skilled in the art.

The industrial applicability is obvious. .

# CLAIMS

1. Camera system comprising a camera (1) provided with an optics system (2) and a photosensitive image surface (3) disposed near the optics system symmetrically relative to its optic axis (L), the image of the object (K) refracted by the optics being projected onto the image surface, the photosensitive image surface (3) being a concave spherical surface whose center of curvature is at the focal point of the optics (2) and consisting of a matrix of individual photosensitive detecting elements, characterized in that the detecting elements are so arranged on the image surface (3) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

2. Camera system as defined in claim 1, characterized in that the density distribution of the detecting elements on the image surface (3) is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = density of detecting elements at the origin (on the optic axis),

$I(r)$  = local density of detecting elements at radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

3. Camera system as defined in claim 1 or 2, characterized in that photosensitive detecting elements are CCD elements.

4. Camera system as defined in claim 1 - 3, characterized in that the number of detecting elements is of the order of 100000 or higher.

5. Camera system as defined in claim 4, characterized in that the number of detecting elements has been so chosen that, to achieve a

reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4 - 3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6 - 2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

5           6. Camera system as defined in any one of claims 1 - 5, characterized in that the optics (2) has been so arranged that, in the high-resolution area near the optic axis (L), the point spread function (PSF) produced by the optics inte-  
10           grates over several detecting elements to prevent aliasing.

          7. Camera system as defined in any one of claims 1 - 6, characterized in that the optics (2) is of a type having a so-called normal focal  
15           distance and the image surface (3) is a spherical cap-  
lotte with a recording angle of the order of  $60^\circ$ ; and that the camera comprises a shutter (4) disposed between the optics and the image surface and provided with an adjustable aperture.

20           8 Camera system as defined in any one of claims 1 - 6, characterized in that the recording angle of the image surface (3) is  $180^\circ$  or less.

          9. Camera system as defined in any one of  
25           claims 1 - 6, characterized in that the optics (2) comprises a lens (5) with a short focal distance, such as a so-called fish-eye lens; that the image surface (3) is of a hemispherical shape and the recording angle is  $180^\circ$ , the camera thus being of a  
30           semispace recording type.

          10. Camera system as defined in any one of claims 1 - 9, characterized in that the camera (1) is a digital camera which comprises means for digitization of the signals received from the de-  
35           tecting elements and means for transferring the digitized images to a computer.

11. Camera system as defined in any one of claims 1 - 10, characterized in that the camera (1) is of a type for recording moving pictures.

12. Camera system as defined in any one of  
5 claims 1 - 11, characterized in that the camera (1) is of a type for recording still pictures.

13. Camera system as defined in any one of claims 1 - 12, characterized in that the camera (1) is a monitoring camera.

10 14. Camera system as defined in any one of claims 1 - 13, characterized in that the system comprises two semispace recording cameras (1) directed in opposite directions for the recording of the whole space.

15 15. Camera system as defined in any one of claims 1 - 14, characterized in that the system comprises two adjacent semispace recording cameras (1) directed in the same direction for the recording of a stereo image of the semispace.

20 16. Display device (6) for displaying an image recorded by a camera system as defined in any one of claims 1 - 15 on the display surface (7) of the display device, characterized in that the display surface (7) is a concave spherical surface.

25 17. Display device as defined in claim 16, characterized in that the display device (6) is a monitor, such as a computer monitor or a television, the screen of which is a display surface (7) having the shape of a concave spherical calotte.

30 18. Display device as defined in claim 16, characterized in that the display surface (7) is a wall or ceiling surface of a room, onto which an image can be projected so as to allow it to be viewed simultaneously by a plurality of persons.

35 19. Display device as defined in claim 16, characterized in that the display device is a personal display visor or the like, in which the

display surface (7) is a hemispherical display surface having its center at the focal point of the eye.

20. Display device as defined in claim 19, characterized in that the display visor or  
5 the like comprises two hemispherical display surfaces (7) with their centers at the focal points of the eyes, one display surface being provided for each eye for the viewing of stereo images.

21. Display device as defined in any one of  
10 claims 16 - 20, characterized in that the display surface (7) consists of a matrix of individual picture elements.

22. Display device as defined in claim 21, characterized in that the number of picture  
15 elements is of the order of 100000 or higher.

23. Display device as defined in claim 21 or 22, characterized in that the number of picture elements has been so chosen that, in order to achieve a reasonable image quality, the number is of  
20 the order of  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

24. Display device as defined in any one of claims 21 - 23, characterized in that the  
25 picture elements are so arranged on the display surface (7) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

25. Display device as defined in claim 24,  
30 characterized in that the picture elements of the hemispherical display surface (7) are larger in surface area in the edge zones than in the vicinity of the optic axis (L).

26. Display device as defined in claim 24 or  
35 25, characterized in that the density distribution of the picture elements on the display surface is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = picture element density at the origin (on the optic axis),

5  $I(r)$  = local picture element density at radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

27. Display device as defined in any one of  
claims 21 - 26, characterized in that the  
10 picture elements are implemented using fiber optics.



# CLAIMS

1. Camera system comprising a camera (1) provided with an optics system (2) and a photosensitive image surface (3) disposed near the optics system symmetrically relative to its optic axis (L), the image refracted by the optics being projected onto the image surface, characterized in that the photosensitive image surface (3) is a concave spherical surface whose center of curvature is at the focal point of the optics (2).

2. Camera system as defined in claim 1, characterized in that the photosensitive image surface (3) consists of a matrix of individual photosensitive detecting elements, such as CCD elements.

3. Camera system as defined in claim 2, characterized in that the number of detecting elements is of the order of 100000 or higher.

4. Camera system as defined in claim 3, characterized in that the number of detecting elements has been so chosen that, to achieve a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4 - 3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6 - 2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

5. Camera system as defined in claim 3 or 4, characterized in that the detecting elements are so arranged on the image surface (3) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

6. Camera system as defined in claim 5, characterized in that the density distribution of the detecting elements on the image surface (3) is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-2 \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = density of detecting elements at the origin (on the optic axis),

$I(r)$  = local density of detecting elements at

radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

5  
7. Camera system as defined in any one of claims 1 - 6, characterized in that the optics (2) has been so arranged that, in the high-resolution area near the optic axis (L), the point spread function (PSF) produced by the optics integrates over several detecting elements to prevent aliasing.

15  
8. Camera system as defined in any one of claims 1 - 7, characterized in that the optics (2) is of a type having a so-called normal focal distance and the image surface (3) is a spherical cap with a recording angle of the order of  $60^\circ$ ; and that the camera comprises a shutter (4) disposed between the optics and the image surface and provided with an adjustable aperture.

20  
9. Camera system as defined in any one of claims 1 - 8, characterized in that the recording angle of the image surface (3) is  $180^\circ$  or less.

25  
10. Camera system as defined in any one of claims 1 - 9, characterized in that the optics (2) comprises a lens (5) with a short focal distance, such as a so-called fish-eye lens; that the image surface (3) is of a hemispherical shape and the recording angle is  $180^\circ$ , the camera thus being of a semispace recording type.

30  
11. Camera system as defined in any one of claims 1 - 10, characterized in that the camera (1) is a digital camera which comprises means for digitization of the signals received from the de-

tecting elements and means for transferring the digitized images to a computer.

12. Camera system as defined in any one of claims 1 - 11, characterized in that the  
5 camera (1) is of a type for recording moving pictures.

13. Camera system as defined in any one of claims 1 - 12, characterized in that the camera (1) is of a type for recording still pictures.

14. Camera system as defined in any one of  
10 claims 1 - 13, characterized in that the camera (1) is a monitoring camera.

15. Camera system as defined in any one of claims 1 - 14, characterized in that the system comprises two semispace recording cameras (1)  
15 directed in opposite directions for the recording of the whole space.

16. Camera system as defined in any one of claims 1 - 15, characterized in that the system comprises two adjacent semispace recording cameras (1) directed in the same direction for the re-  
20 cording of a stereo image of the semispace.

17. Display device (6) for displaying an image recorded by a camera system as defined in any one of claims 1 - 16 on the display surface (7) of the  
25 display device, characterized in that the display surface (7) is a concave spherical surface.

18. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display device (6) is a monitor, such as a computer monitor or a television, the screen of which is a display surface (7)  
30 having the shape of a concave spherical calotte.

19. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display surface (7) is a wall or ceiling surface of a room, onto which  
35 an image can be projected so as to allow it to be viewed simultaneously by a plurality of persons.

20. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display device is a personal display visor or the like, in which the display surface (7) is a hemispherical display surface having its center at the focal point of the eye.

21. Display device as defined in claim 20, characterized in that the display visor or the like comprises two hemispherical display surfaces (7) with their centers at the focal points of the eyes, one display surface being provided for each eye for the viewing of stereo images.

22. Display device as defined in any one of claims 1 - 17, characterized in that the display surface (7) consists of a matrix of individual picture elements.

23. Display device as defined in claim 22, characterized in that the number of picture elements is of the order of 100000 or higher.

24. Display device as defined in claim 23, characterized in that the number of picture elements has been so chosen that, in order to achieve a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

25. Display device as defined in any one of claims 22 - 24, characterized in that the picture elements are so arranged on the display surface (7) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

26. Display device as defined in claim 25, characterized in that the picture elements of the hemispherical display surface (7) are larger in surface area in the edge zones than in the vicinity of the optic axis (L).

27. Display device as defined in claim 25 or 26, characterized in that the density distribution of the picture elements on the display surface is consistent with the function:

5 
$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = picture element density at the origin (on the optic axis),

10  $I(r)$  = local picture element density at radius  $r$  from the origin, and  
 $a$  = scaling factor.

28. Display device as defined in any one of claims 22 - 27, characterized in that the picture elements are implemented using fiber optics.

# RECORD COPY

1/4

## PCT REQUEST

Original (for SUBMISSION) - printed on 10.05.2000 12:57:03 PM

10/018283 43314J

0	For receiving Office use only	
0-1	International Application No.	PCT/FI 0 0 / 0 0 4 2 0
0-2	International Filing Date	1 0 MAY 2000 ( 1 0 -05- 2000 )
0-3	Name of receiving Office and "PCT International Application"	The Finnish Patent Office PCT International Application
0-4	Form - PCT/RO/101 PCT Request Prepared using	PCT-EASY Version 2.90 (updated 08.03.2000)
0-5	Petition The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty	
0-6	Receiving Office (specified by the applicant)	National Board of Patents and Registration (Finland) (RO/FI)
0-7	Applicant's or agent's file reference	13314J
I	Title of invention	CAMERA SYSTEM AND DISPLAY DEVICE
II	Applicant	
II-1	This person is:	applicant only
II-2	Applicant for	all designated States except US
II-4	Name	TEKNILLINEN KORKEAKOULU
II-5	Address:	P.O.Box 1000 FIN-02015 TTK Finland
II-6	State of nationality	FI
II-7	State of residence	FI
III-1	Applicant and/or inventor	
III-1-1	This person is:	applicant and inventor
III-1-2	Applicant for	US only
III-1-4	Name (LAST, First)	SAARELMA, Hannu
III-1-5	Address:	c/o Teknillinen korkeakoulu, Viestintätekniikan laboratorio P.O. Box 6400 FIN-02015 TTK Finland
III-1-6	State of nationality	FI
III-1-7	State of residence	FI

## PCT REQUEST

13314J

Original (for SUBMISSION) - printed on 10.05.2000 12:57:03 PM

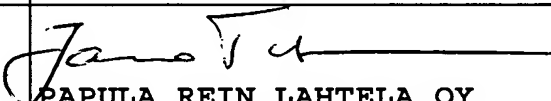
IV-1	<b>Agent or common representative; or address for correspondence</b> The person identified below is hereby/has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as:	<b>agent</b>
IV-1-1	Name	PAPULA <sup>A</sup> REIN LAHTELA <sup>Y</sup> OY
IV-1-2	Address:	P.O. Box 981 (Fredrikinkatu 61 A) FIN-00101 HELSINKI Finland
IV-1-3	Telephone No.	+358 9 3480 060
IV-1-4	Facsimile No.	+358 9 3480 0630
IV-1-5	e-mail	papula@papula.fi
V	<b>Designation of States</b>	
V-1	Regional Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	<p>AP: GH GM KE LS MW SD SL SZ TZ UG ZW and any other State which is a Contracting State of the Harare Protocol and of the PCT</p> <p>EA: AM AZ BY KG KZ MD RU TJ TM and any other State which is a Contracting State of the Eurasian Patent Convention and of the PCT</p> <p>EP: AT BE CH&amp;LI CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE and any other State which is a Contracting State of the European Patent Convention and of the PCT</p> <p>OA: BF BJ CF CG CI CM GA GN GW ML MR NE SN TD TG and any other State which is a member State of OAPI and a Contracting State of the PCT</p>
V-2	National Patent (other kinds of protection or treatment, if any, are specified between parentheses after the designation(s) concerned)	<p>AE AG AL AM AT AU AZ BA BB BG BR BY CA CH&amp;LI CN CR CU CZ DE DK DM DZ EE ES FI GB GD GE GH GM HR HU ID IL IN IS JP KE KG KP KR KZ LC LK LR LS LT LU LV MA MD MG MK MN MW MX NO NZ PL PT RO RU SD SE SG SI SK SL TJ TM TR TT TZ UA UG US UZ VN YU ZA ZW</p>

*diff name*  
*see #08*

## PCT REQUEST

13314J

Original (for SUBMISSION) - printed on 10.05.2000 12:57:03 PM

V-5	<b>Precautionary Designation Statement</b> In addition to the designations made under items V-1, V-2 and V-3, the applicant also makes under Rule 4.9(b) all designations which would be permitted under the PCT except any designation(s) of the State(s) indicated under item V-6 below. The applicant declares that those additional designations are subject to confirmation and that any designation which is not confirmed before the expiration of 15 months from the priority date is to be regarded as withdrawn by the applicant at the expiration of that time limit.		
V-6	<b>Exclusion(s) from precautionary designations</b>	NONE	
VI-1	<b>Priority claim of earlier national application</b>		
VI-1-1	Filing date	11 May 1999 (11.05.1999)	
VI-1-2	Number	991086	
VI-1-3	Country	FI	
VII-1	<b>International Searching Authority Chosen</b>	Swedish Patent Office (ISA/SE)	
VIII	<b>Check list</b>	number of sheets	electronic file(s) attached
VIII-1	Request	4	-
VIII-2	Description	12	-
VIII-3	Claims	5	-
VIII-4	Abstract	1	13314j.txt
VIII-5	Drawings	3	-
VIII-7	TOTAL	25	
	<b>Accompanying items</b>	paper document(s) attached	electronic file(s) attached
VIII-8	Fee calculation sheet	✓	-
VIII-16	PCT-EASY diskette	-	diskette
VIII-17	Other (specified):	copy of official action / FI 991086	-
VIII-18	<b>Figure of the drawings which should accompany the abstract</b>	1	
VIII-19	<b>Language of filing of the international application</b>	Finnish	
IX-1	<b>Signature of applicant or agent</b>		
IX-1-1	Name	PAPULA REIN LAHTELA OY	
IX-1-2	Name of signatory	Jarmo Tanskanen	

## FOR RECEIVING OFFICE USE ONLY

10-1	<b>Date of actual receipt of the purported international application</b>	10 MAY 2000	(10-05-2000)
10-2	<b>Drawings:</b>		
10-2-1	Received		
10-2-2	Not received		



## PCT REQUEST

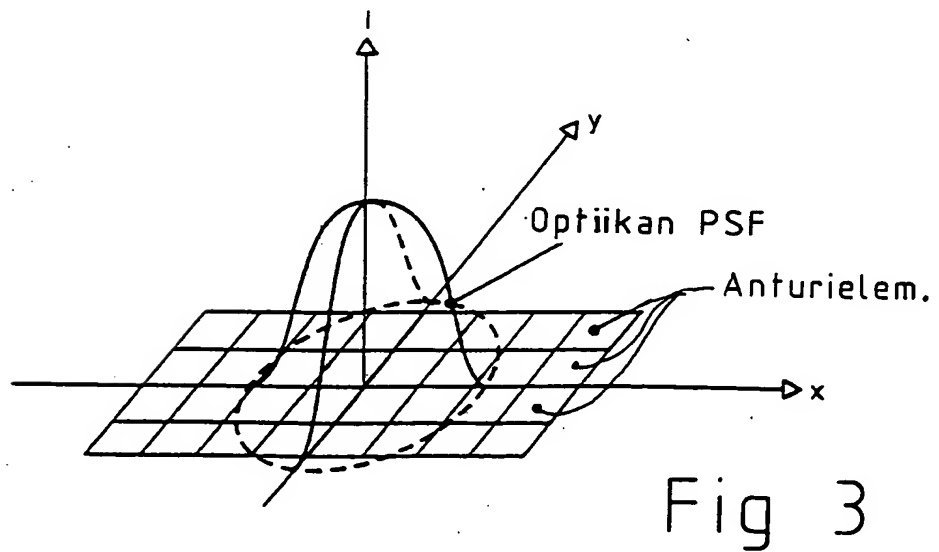
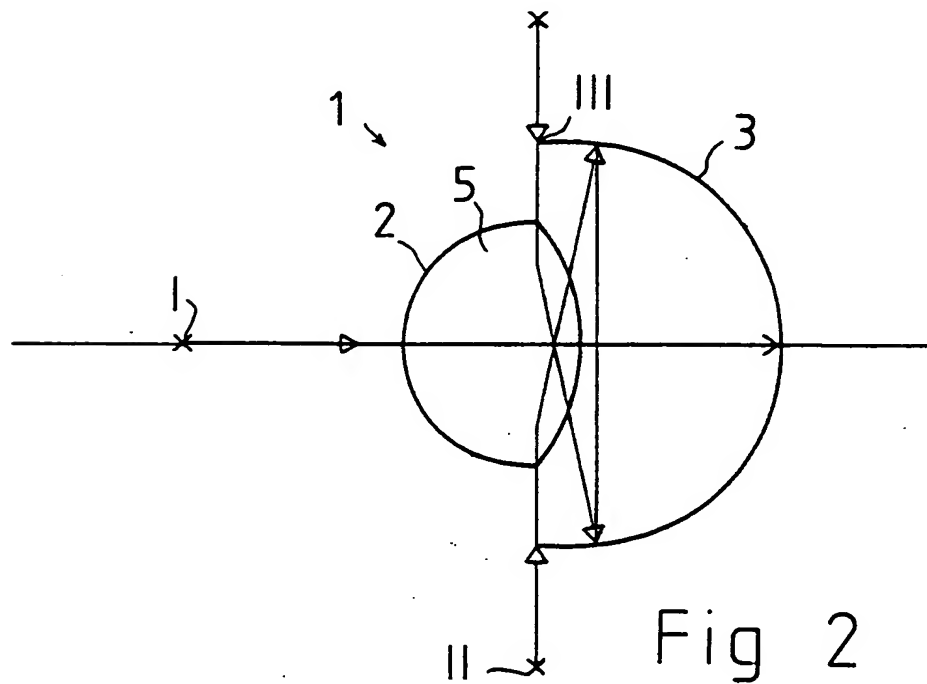
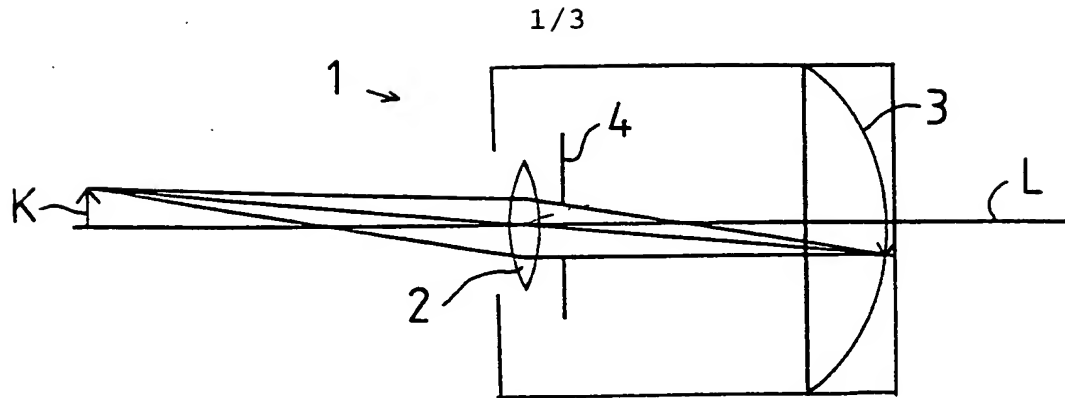
13314J

Original (for SUBMISSION) - printed on 10.05.2000 12:57:03 PM

10-3	Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application	
10-4	Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2)	
10-5	International Searching Authority	ISA/SE
10-6	Transmittal of search copy delayed until search fee is paid	

## FOR INTERNATIONAL BUREAU USE ONLY

11-1	Date of receipt of the record copy by the International Bureau	30 MAY 2000	30.05.00
------	--	-------------	----------



2/3

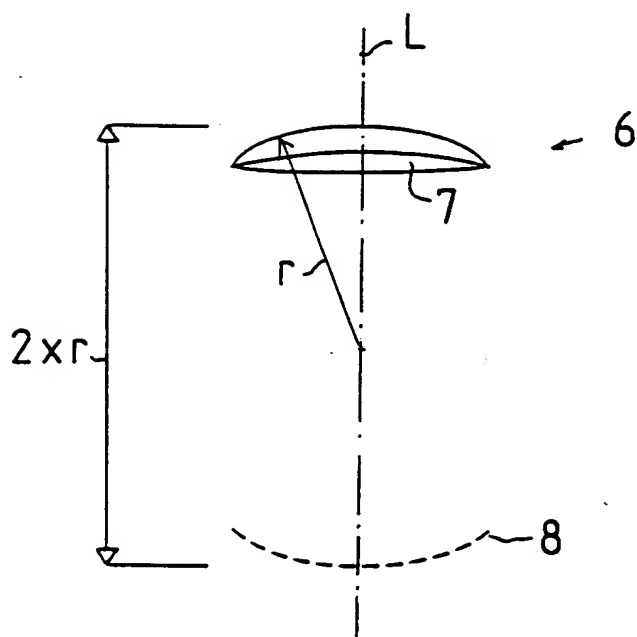


Fig 6

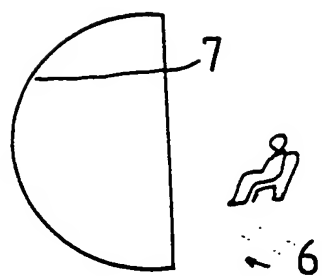


Fig 7

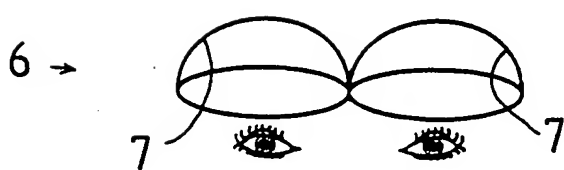


Fig 8

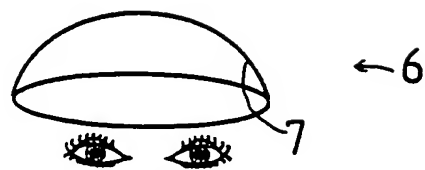


Fig 9

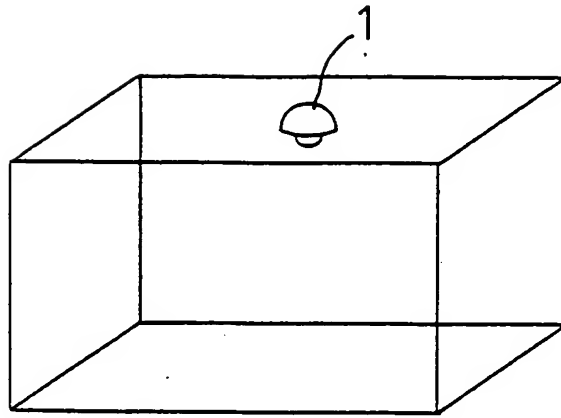


Fig 4

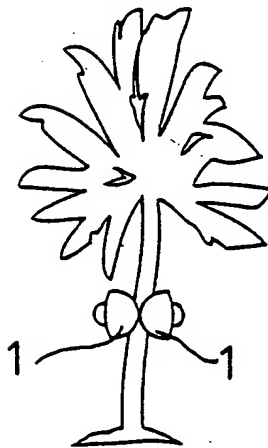


Fig 5

## KAMERAJÄRJESTELMÄ JA NÄYTTÖLAITE

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osassa määriteltä kamerajärjestelmä. Edelleen keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 17 mukainen  
5 näyttölaite.

Valokuvaus keksittiin 1800-luvun alkupuolella. Melko pian potentiaalisten valonherkkien materiaalien kirjoista erottautuivat hopeahalogenidit (AgBr, AgCl), jotka gelatiiniin dispergoituina ovat valon-  
10 herkkiä. Dispersio levitettiin lasilevyille, joka muodosti kameras valonherkän kuvapinnan. Lasilevy oli suora: kehitettiin optiikka, joka neulanreikää suuremmillakin aukoilla fokusoivat kuvan tasolle.

Lasilevyä seurasi filmi, filmiä seurasi vidiconputki ja vidiconputkea seurasi digitaalimatriisi. Kuvataso on kuitenkin pysynyt tasona sekä still- että liikkuvia kuvia ottavassa kamerassa. Tasoprojisoimis-  
15 sa valaistus kuvapinnalla on verrannollinen optisesta akselista mitatun poikkeutuskulman kosinin neliöön:

$$20 \quad I = (L \cos^4 \varphi) / 4f(1 + m)^2$$

missä

$I$  on intensiteetti kuvatasolla,

$L$  on luminanssi kohteessa,

$\varphi$  on polttopistelähtöisen säteen kulma opti-  
seen akseliin nähden,  
25

$f$  on aukkoluku ja

$m$  on muuntoluku.

Varsinkin laajakulmaisilla optiikoilla valaistuksen tasaisuus kuva-alueella on ongelma. Edelleen kuvakulmaltaan yli 100° laajakulmakuvia on vaikea  
30 aikaansaada suorien viivojen oleellisesti vääristymättä.

Entuudestaan tunnetaan, että molemmat ym. virheet on korjattu digitaalisen kuvankäsittelyn keinoin.  
35

Keksinnön tarkoituksena on poistaa edellä mainitut epäkohdat.

Erityisesti keksinnön tarkoituksena on tuoda esiin kamerajärjestelmä ja vastaava näyttölaite, joka mahdollistaa laajakulmaisen kuvan, jossa valaistus on tasainen koko kuva-alalla eivätkä viivat vääristy kuva-alalla.

Keksinnön mukaiselle kameralle ja näyttölaitteelle tunnusomaisten seikkojen osalta viitataan patenttivaatimuksiin.

Keksinnön mukaiseen kamerajärjestelmään kuuluu kamera, jossa on optiikka, ja valonherkkä kuvapinta, joka on järjestetty optiikan läheisyyteen symmetrisesti sen optisen pääakselin suhteen ja johon kuvapintaan optiikan taittama kohteen kuva kuvantuu.

Keksinnön mukaisesti valonherkkä kuvapinta on kovera pallopinta, jonka kaarevuuskeskipiste on optiikan polttopisteessä. Keksinnön mukainen kamera projisoi kuvan koveralle, polttopistekeskeiselle pallopinnalle, joka toimii valodetektorina ja voi koostua valonherkistä anturielementeistä.

Keksinnön mukaisessa kamerajärjestelmässä ei ilmene konventionaalisille kuvaustekniikoille tyypillistä anisotropiaa ja geometrista vääristymistä. Keksinnön avulla voidaan toteuttaa eri polttovälejä aina  $180^\circ$  havaintokulmaan asti.

Keksinnön etuna normaalia polttoväliä käytettäessä, kuvakulma on n.  $60^\circ$ , on kosinivirheen välttäminen. Tällöin kuvan isotrooppisuus valaistuksen tasaisuuden osalta on merkittävästi parempi kuin tunnetussa kamerassa. Tämä on tärkeää erilaisissa kuvanalyysisovelluksissa, joissa tummuuden ja värin perusteella tehdään johtopäätöksiä analysoitavasta kohteesta.

Lyhyitä polttovälejä (aina  $180^\circ$  taltiointikulmaan asti) käytettäessä on keksinnön etuna, että se poistaa nykyisille optiikoille tyypilliset geometriset vääristymät. Mikäli kuvia tulostetaan ja/tai näytetään perinteisiä, tasomaisia näyttöpintoja käyttäen, voi-

daan kuvasta leikata ohjelmallisesti sopivia vääristymättömiä suorakaiteita. Käytettäessä keksinnön mukaisista näyttölaitetta, jossa näyttöpinta on kovera pallopinta, ei geometrisia vääristymiä muodostu.

5 Pitkiä polttovälejä käytettäessä suhteellisia välimatkoja lyhentävä visuaaliefekti poistuu.

Optisesti kuvan projisointi pallopinnalle on vähemmän vaativaa kuin tavanomainen tasoprojisointi. Sen vuoksi keksinnön mukaisessa järjestelmässä optiikka  
10 voidaan valmistaa aberratiovapaaksi tavanomaista optiikkaa halvemmin kustannuksin.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa valonherkkä kuvapinta koostuu matriisista yksittäisiä valonherkkiä anturielementtejä, kuten CCD-elementtejä.

15 Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa anturielementtien lukumäärä on suuruusluokkaa 100000 tai suurempi.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa anturielementtien lukumäärä on valittu siten, että koh-  
20 tuullisen kuvanlaadun aikaansaamiseksi lukumäärä on suuruusluokkaa  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , hyvän kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluokkaa  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , tai täydellisen kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluokkaa  $10^8$ .

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa anturielementit on järjestetty kuvapinnalle siten, että  
25 niiden tiheys on optisella pääakselilla maksimissaan ja pienenee optiselta pääakselilta reuna-alueille päin.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa anturielementtien tiheysjakauma kuvapinnalla noudattaa  
30 funktiota:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2}, \text{ missä}$$

$I_0$  = anturielementtien tiheys origossa (pääakselilla),

$I(r)$  = anturielementtien paikallinen tiheys sä-  
35 teellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa optisen pääakselin läheisyydessä anturielementtien suuren resoluution alueella anturielementit on järjestetty siten, että optiikan aikaansaama pisteen leviämiskä-  
5 tio (PSF) integroi yli usean anturielementin vierastu-  
misen (aliasing) estämiseksi.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa optiikka on ns. normaalipolttovälinen ja kuvapinta on pallokalotti, jonka taltiointikulma ( $\alpha$ ) on suuruus-  
10 luokkaa  $60^\circ$ ; ja että kameraan kuuluu kaihdin, joka on  
järjestetty optiikan ja kuvapinnan välille ja jonka  
aukko on säädettävä.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa kuvapinnan taltiointikulma on  $180^\circ$  tai pienempi.

15 Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa optiikkaan kuuluu lyhytpolttovälinen linssi, kuten ns. kalansilmälinssi; että kuvapinta on puolipallon muoto-  
toinen ja taltiointikulma on  $180^\circ$  niin, että kamera on  
puoliavaruutta taltioiva.

20 Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa kamera on digitaalikamera, johon kuuluu välineet anturielementeistä saatujen signaalien digitoimiseksi ja välineet digitoitujen kuvien siirtämiseksi tietokoneelle. Kuvaa voidaan käsitellä, siirtää ja tulostaa  
25 digitaalimuodossa. Kuvia voidaan näyttää edellä mainitulla pallopintanäytöllä tai tavanomaisilla näytöillä. Niitä voidaan myös vääristymättöminä tulostaa paperille kuvatulostimilla.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa  
30 kamera on liikkuvaa kuvaa taltioiva kamera.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa kamera on still-kuvia taltioiva kamera.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa kamera on valvontakamera.

35 Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa järjestelmään kuuluu kaksi vastakkaisiin suuntiin suun-



nattua puoliavaruutta taltioivaa kameraa koko avaruuden taltioimiseksi.

Kamerajärjestelmän eräässä sovellutuksessa järjestelmään kuuluu kaksi vierekkäistä, samaan suuntaan suunnattua, puoliavaruutta taltioivaa kameraa stereokuvan taltioimiseksi puoliavaruudesta.

Keksinnön mukaisesti näyttölaitteessa em. kamerajärjestelmällä taltioidun kuvan näyttämiseksi näyttöpinta on kovera pallopinta.

10         Näyttölaitteen etuna on, että kuvassa valaistus on tasainen koko kuva-alueella ja kuva on geometrisesti vääristymätön eikä minkäänlaista kuvan luminanssitasoon tai ääriviiivoihin kohdistuvaa korjausprosessointia tarvita.

15         Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa näyttölaite on monitori, kuten tietokonemonitori tai televisio, jonka kuvaruutu on koveran pallokalotin muotoinen.

20         Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa näyttöpinta on huoneen puolipallon muotoinen seinä- tai kattopinta, johon kuva on heijastettavissa usean henkilön samanaikaista katselua varten.

25         Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa näyttölaite on henkilökohtainen näyttövisiiri tai sen tapainen, jossa näyttöpinta on silmän polttopistekeskinen puolipallonäyttöpinta.

30         Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa näyttövisiiriin tai sen tapaiseen kuuluu kaksi silmän polttopistekeskistä puolipallonäyttöpintaa, yksi kumpaakin silmää varten stereokuvien katselua varten.

       Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa näyttöpinta muodostuu matriisista yksittäisiä kuvaelementtejä.

35         Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa kuvaelementtien lukumäärä on suuruusluokkaa 100000 tai suurempi.

Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa kuva-  
elementtien lukumäärä on valittu siten, että kohtuulli-  
sen kuvanlaadun aikaansaamiseksi lukumäärä on suuruus-  
luokkaa  $10^4 - 3 \times 10^4$ , hyvän kuvanlaadun aikaansaamiseksi  
5 suuruusluokkaa  $10^6 - 2 \times 10^6$ , tai täydellisen kuvanlaadun  
aikaansaamiseksi suuruusluokkaa  $10^8$ .

Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa kuva-  
elementit on järjestetty näyttöpinnalle siten, että  
niiden tiheys on optisella pääakselilla maksimissaan ja  
10 pienenee optiselta pääakselilta reuna-alueille päin.

Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa puoli-  
pallonäyttöpinnan kuvaelementit ovat reuna-alueilla  
pinta-alaltaan suurempia kuin pääakselin läheisyydes-  
sä.

15 Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa kuva-  
elementtien tiheysjakauma näyttöpinnalla noudattaa  
funktiota:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

missä

20  $I_0$  = kuvaelementtien tiheys origossa (pääakse-  
lilla),

$I(r)$  = kuvaelementtien paikallinen tiheys sä-  
teellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

25 Näyttölaitteen eräässä sovellutuksessa kuva-  
elementit on toteutettu kuituoptiikalla.

Keksinnön mukaiset kamerat ja näyttölaitteet  
sopivat erittäin hyvin näkevän robotiikan sovelluk-  
siin. Koska linjaväärityksiä ei ole, vältetään näiden  
30 korjauslaskennalta. Koska rakenteellisia valaistusero-  
ja optisen akselin ja kuvan periferia-alueiden välillä  
ei ole, on tulkintalaskenta tuloksiltaan tarkempaa  
kuin perinteistä kameraa käytettäessä. Keksinnön mu-  
kaiset kamerat ja näyttölaitteet sopivat erittäin hy-  
35 vin myös simulaattoreihin, joissa keinotekoisesti luo-  
daan ärsykkeet koko näkökentälle (esimerkiksi len-

tosimulaattori). Vastaavasti voidaan tuottaa viihde- ja tietokonepeliaiaineistoa, jossa henkilö kokee virtuaalisesti olevansa kameran kuvaamassa ja pallonäytön toistamassa tilanteessa. Käyttäen kahta vierekkäistä  
5 kameraa voidaan generoida koko näkökentän täyttävä, kolmiulotteinen havainto.

Seuraavassa keksintöä selostetaan yksityiskohtaisesti sovellutusesimerkkien avulla viittaamalla oheiseen piirustukseen, jossa

10 kuva 1 esittää kaaviomaista periaatekuvaa keksinnön mukaisen kamerajärjestelmän eräästä ensimmäisestä sovelluksesta,

kuva 2 esittää kaaviomaista periaatekuvaa keksinnön mukaisen kamerajärjestelmän eräästä toisesta  
15 sovelluksesta,

kuva 3 esittää havainnollistaa kaaviomaisesti vierastumisen (aliasing) estämistä optiikan avulla kohdissa, joissa kuvaelementtien tiheys on maksimissa,

kuva 4 esittää kaaviomaisesti keksinnön mu-  
20 kaisen kamerajärjestelmän erästä käyttöä valvontakamerana puoliavaruuden valvomiseksi huonetilassa,

kuva 5 esittää kaaviomaisesti keksinnön mu-  
kaisen kamerajärjestelmän erästä toista käyttöä val-  
vontakamerana koko avaruuden valvomiseksi avoimessa  
25 tilassa,

kuva 6 esittää kaaviomaisesti keksinnön mu-  
kaisen näyttölaitteen erästä ensimmäistä sovellusta, ts. pallokalottimaista monitoria tai televisiota ja sen optimaalista katselulinjaa,

30 kuva 7 esittää kaaviomaisesti keksinnön mu-  
kaisen näyttölaitteen erästä toista sovellusta, joka mahdollistaa kuvien esittämisen useammalle henkilölle,

kuva 8 esittää keksinnön mukaisen näyttölait-  
teen erästä kolmatta sovellusta, joka on henkilökoh-  
35 tainen näyttölaite stereokuvien esittämiseksi,

kuva 9 esittää kaaviomaisesti keksinnön mu-  
kaisen näyttölaitteen erästä neljättä sovellusta, joka

on henkilökohtainen näyttölaite monokuvien esittämiseksi.

Kuvassa 1 on kamera 1, johon kuuluu ns. normaalipolttovälinen optiikka 2, joka kuvassa on esitetty yksinkertaisena linssinä. Edelleen kameraan 1 kuuluu valonherkkä kuvapinta 3, joka on kovera pallopinta, johon optiikka 2 projisoi kohteen kuvan. Kuvapinnan 3 kaarevuuskeskipiste on optiikan 2 polttopisteessä optisella pääakselilla L. Normaalipolttovälisellä linssillä 2 saadaan n.  $60^\circ$  taltiointikulma, joten kamerassa kuvapinta voi olla pallokalotin muotoinen. Kameraan kuuluu edelleen säädettävällä aukolla varustettu kaihdin 4, joka on järjestetty linssin 2 läheisyyteen linssin 2 ja kuvapinnan 3 välille.

Kuvan 2 kamerassa 1 optiikkaan 2 kuuluu lyhytpolttovälinen linssi 5, ns. kalansilmälinssi. Kuvapinta 3 on puolipallon muotoinen, jolloin kamera on puoliavaruutta taltioiva kamera. Kuvassa on havainnollistettu kolmen kohteen I, II, III kuvantumista puolipallokuvapinnalle. Taltiointikulma on  $180^\circ$ . Pääakselilla L olevan kohteen I kuva tallentuu kuvapinnalle 3 optisella pääakselilla L. Pääakselin L suhteen  $90^\circ$  kulmissa vastakkaisilla puolilla olevat kohteet II ja III tallentuvat puolipallokuvapinnan reunoille.

Kuvien 1 ja 2 kamerat ovat edullisesti sekä still- että liikkuvaa kuvaa käsitteleviä digitaalikameroita. Kameran 1 kuvapinta 3 on koottu yksittäin sijoitetuista digitaalisista anturielementeistä tai se voidaan konstruoida kuituoptiikan avulla. Kohtuulliseen kuvanlaatuun päästään käyttäen suuruusluokkaa 100 000 - 300 000 anturielementtiä kuvapinnalla 3. Hyvä kuvan laatu aikaansaadaan suuruusluokkaa 1 - 2 miljoonalla anturielementillä. Mikäli pyritään täydelliseen kuvanlaatuun, tulee anturielementtien lukumäärän olla suuruusluokkaa  $10^8$ .

Kuvan 2 mukaisilla koko puoliavaruuden näkevillä kameroilla, joissa kuvapinnan 3 taltiointikulma

on 180°, vastaavilla näytöillä optisen pääakselin L kohta vastaa ihmisen terävänäkemistä ja reuna-alueet epätarkempaa periferianäkemistä. Siksi anturielementtien tiheys kuvapinnalla 3 voi vaihdella siten, että  
 5 optisen pääakselin kohdalla tiheys on maksimissaan eli resoluutio on suuri vähentyen reuna-alueita lähestyttäessä, jossa resoluutio on pienempi. Esimerkiksi Gaussinen anturitiheysjakauma vastaa kutakuinkin tiedon käyttöfrekvenssiä kuvaa katsottaessa. Myös muut  
 10 jakaumat ovat mahdollisia. Vaihtelevan anturitiheyden käyttö soveltuu esimerkiksi etäohjaussovellukseen, jossa robottiin sijoitettu keksinnön mukainen kamera kuvaa todellista kohdetta ja robottia ohjaava ihminen katsoo kameran kuvaamaa kuvaa keksinnön mukaisella  
 15 näyttölaitteella. Anturielementtien tiheys kuvapinnalla 3 voi noudattaa esimerkiksi jakaumaa, joka on seuraavan funktion mukainen:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

missä

20  $I_0$  = anturielementtien tiheys origossa (pääakselilla),

$I(r)$  = anturielementtien paikallinen tiheys säteellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

25 Mikäli digitaalisella kameralla kuvattava taajuus on suurempi kuin puolet kameran sensoritaajuudesta, ilmenee ns. vierastumisilmiö (aliasing effect), jonka vaikutuksesta taajuuden kasvaessa MTF käytyään nollassa saa suuremmilla taajuuksilla korkeita positiivisia arvoja. Varsinkin rakenteisia kohteita kuvattaessa tämä saa aikaan kuvan laadun oleellisen huononemisen. Vierastuminen on vältettävissä vaihtelevaresoluutioisen kameran suuriresoluutio-osissa kuvan 3 mukaisella järjestelyllä. Optiikan pisteen leviämiskäsi-  
 30 funktio PSF sovitetaan integroimaan yli muutaman vierekkäisen anturielementin.

Kuvissa 4 ja 5 on havainnollistettu kuvan 2 puoliavaruutta taltioivan kameran käyttöä laajakulmaisena valvontakamerana. Entuudestaan tunnetuista liikkuttamalla skannaavista kameroista poiketen tällainen  
5 kamera voidaan asentaa kiinteäksi ja liikkumattomaksi huonetilan seinään tai kattoon, kuten kuvassa 4. Esimerkiksi pankin valvontakamerana tällainen liikkumaton kamera on huomaamaton ja vaikeasti havaittavissa. Kuvan 5 kahdella vastakkaisiin suuntiin katsovalla kameralla hallitaan koko avoin tila (2xpuoliavaruus). Yhdellä kameralla saadaan puoliavaruudesta geometrisesti  
10 vääristymätön kuva yhdellä kuvauksella kameraa liikuttamatta. Kahdella samaan suuntaan suunnatulla, puoliavaruutta kuvaavalla kameralla voidaan muodostaa  
15 stereokuvia kolmiulotteisen vaikutelman aikaansaamiseksi.

Keksinnön mukaisella kameralla kuvattuja kuvia voidaan katsella normaaleina tasokopioina tasonäyttöillä tai -tulosteista. Voidaan myös konstruoida erityisiä näyttölaitteita 6 kameralla 1 otettujen kuvien  
20 katselua varten, kuten on esitetty kuvissa 6 - 9. Tällaisessa näyttölaitteessa 6 näyttöpinta 7, jolta kuvia katsellaan, on kovera pallopinta.

Kuvassa 6 on esitetty sovellus, jossa näyttö-  
25 laite 6 on monitori, kuten tietokonemonitori tai televisio, jonka kuvaruutu on koveran pallokalotin muotoinen näyttöpinta 7. Sitä katsellaan edullisesti etäisyydeltä, joka on kaksinkertainen pallokalotin säteeseen  $r$  nähden. Optimaalinen katselulinja on esitetty  
30 katkoviivalla 8.

Kuvaan 7 viitaten useampaa katselijaa varten näyttöpinta 7 voi olla myös huoneessa puolipallon muotoinen seinä- tai kattopinta (omniteatteri), johon kuva on heijastettavissa usean henkilön samanaikaista  
35 katselua varten.

Kuvissa 8 ja 9 on näyttölaite 6, joka on henkilökohtainen näyttövisiiri, näyttökypärä tai sen ta-

painen, jossa näyttöpinta 7 on silmän polttopistekeskinen puolipallonäyttöpinta. Tätä voidaan soveltaa esimerkiksi keinotodellisuuden esittämiseen viihde- ja pelitarkoituksessa sekä kypäränäyttönä esim. lentäjille.

5 Kuvassa 8 näyttövisiiriin tai sen tapaiseen kuuluu kaksi silmän polttopistekeskistä puolipallonäyttöpintaa 7, yksi kumpaakin silmää varten, stereokuvien katselua varten, jolloin saadaan kolmiulotteinen vaikutelma.

10 Kuvassa 9 on näyttövisiiriin järjestetty mononäyttö, jossa on yksi puolipallonäyttöpinta 7.

Näyttölaitteissa näyttöpinta 7 voi muodostua matriisista yksittäisiä kuvaelementtejä. Kuvaelementtien lukumäärä on valittu siten, että kohtuullisen kuvanlaadun aikaansaamiseksi lukumäärä on suuruusluokkaa  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , hyvän kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluokkaa  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , tai täydellisen kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluokkaa  $10^8$ .

20 Käytettäessä syöttölaitteena vaihtuvaresoluutioista kameraa, voidaan näyttölaitte konstruoida vaihtuvaresoluutioiseksi.  $180^\circ$  näytöllä periferia-alueet toteutetaan harvempia, mutta suurempia kuvaelementtejä käyttäen, mutta kuvaenergialtaan (=kuvaelementin pinta-ala  $\times$  maksimi luminanssi) tarkan resoluution aluetta vastaavina.

Vaihtuvaresoluutioisessa näyttölaitteessa 6 kuvaelementit voi olla järjestetty näyttöpinnalle 7 siten, että niiden tiheys on optisella pääakselilla L maksimissaan ja pienenee optiselta pääakselilta reunalueille päin. kuvaelementtien tiheysjakauma näyttöpinnalla noudattaa funktiota:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

missä

35  $I_0$  = kuvaelementtien tiheys origossa (pääakselilla),

$I(r)$  = kuvaelementtien paikallinen tiheys säteellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

- 5      Keksintöä ei rajata pelkästään edellä esitetyistä sovellutusesimerkkejä koskevaksi, vaan monet muunnokset ovat mahdollisia pysyttäessä patenttivaatimusten määrittelymään keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.



## PATENTTIVAATIMUKSET

1. Kamerajärjestelmä, johon kuuluu kamera  
(1), jossa on optiikka (2), ja valonherkkä kuvapinta  
5 (3), joka on järjestetty optiikan läheisyyteen symmet-  
risesti sen optisen pääkselin (L) suhteen ja johon  
kuvapintaan optiikan taittama kohteen (K) kuva kuvan-  
tuu, t u n n e t t u siitä, että valonherkkä kuvapinta  
(3) on kovera pallopinta, jonka kaarevuuskeskipiste on  
10 optiikan (2) polttopisteessä.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen kamerajär-  
jestelmä, t u n n e t t u siitä, että valonherkkä kuva-  
pinta (3) koostuu matriisista yksittäisiä valonherkkiä  
anturielementtejä, kuten CCD-elementtejä.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen kamerajär-  
jestelmä, t u n n e t t u siitä, että anturielementtien  
lukumäärä on suuruusluokkaa 100000 tai suurempi.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen kamerajär-  
jestelmä, t u n n e t t u siitä, että anturielementtien  
20 lukumäärä on valittu siten, että kohtuullisen kuvanlaa-  
dun aikaansaamiseksi lukumäärä on suuruusluokkaa  $10^4$  -  
 $3 \times 10^4$ , hyvän kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluok-  
kaa  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , tai täydellisen kuvanlaadun aikaansaa-  
miseksi suuruusluokkaa  $10^8$ .

5. Patenttivaatimuksen 3 tai 4 mukainen kame-  
rajärjestelmä, t u n n e t t u siitä, että anturielemen-  
tit on järjestetty kuvapinnalle (3) siten, että niiden  
tiheys on optisella pääkselillä (L) maksimissaan ja  
pienenenee optiselta pääkselilta reuna-alueille päin.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen kamerajär-  
jestelmä, t u n n e t t u siitä, että anturielementtien  
30 tiheysjakauma kuvapinnalla (3) noudattaa funktiota:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

missä

35  $I_0$  = anturielementtien tiheys origossa (pääak-  
selillä),

$I(r)$  = anturielementtien paikallinen tiheys säteellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

7. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 6 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että optiikka (2) on järjestetty siten, että optisen pääakselin (L) läheisyydessä, anturielementtien suuren resoluution alueella optiikan aikaansaama pisteen leviämiskäyttäytyminen (PSF) integroi yli usean anturielementin vierastumisen (aliasing) estämiseksi.

8. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 7 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että optiikka (2) on ns. normaalipolttovälinen ja kuvapinta (3) on pallokalotti, jonka taltiointikulma on suuruusluokkaa  $60^\circ$ ; ja että kameraan kuuluu kaihdin (4), joka on järjestetty optiikan ja kuvapinnan välille ja jonka aukko on säädettävä.

9. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 8 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että kuvapinnan (3) taltiointikulma on  $180^\circ$  tai pienempi.

10. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 9 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että optiikkaan (2) kuuluu lyhytpolttovälinen linssi (5), kuten ns. kalansilmälinssi; että kuvapinta (3) on puolipallon muotoinen ja taltiointikulma on  $180^\circ$ , jolloin kamera on puoliavaruutta taltioiva.

11. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 10 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että kamera (1) on digitaalikamera, johon kuuluu välineet anturielementeistä saatujen signaalien digitoimiseksi ja välineet digitoitujen kuvien siirtämiseksi tietokoneelle.

12. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 11 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että kamera (1) on liikkuvaa kuvaa taltioiva kamera.

13. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 12 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että kamera (1) on still-kuvia taltioiva kamera.

14. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 13 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että kamera (1) on valvontakamera.

15. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 14 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu kaksi vastakkaisiin suuntiin suunnattua puoliavaruutta taltioivaa kameraa (1) koko avaruuden taltioimiseksi.

16. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 15 mukainen kamerajärjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu kaksi vierekkäistä, samaan suuntaan suunnattua, puoliavaruutta taltioivaa kameraa (1) stereokuvan taltioimiseksi puoliavaruudesta.

17. Näyttölaite (6) jonkin patenttivaatimuksista 1-16 mukaisella kamerajärjestelmällä taltioidun kuvan näyttämiseksi näyttölaitteen näyttöpinnalla (7), tunnettu siitä, että näyttöpinta (7) on kovera pallopinta.

18. Patenttivaatimuksen 17 mukainen näyttölaite, tunnettu siitä, että näyttölaite (6) on monitori, kuten tietokonemonitori tai televisio, jonka kuvavaruutu on koveran pallokalotin muotoinen näyttöpinta (7).

19. Patenttivaatimuksen 17 mukainen näyttölaite, tunnettu siitä, että näyttöpinta (7) on huoneessa puolipallon muotoinen seinä- tai kattopinta, johon kuva on heijastettavissa usean henkilön samanaikaista katselua varten.

20. Patenttivaatimuksen 17 mukainen näyttölaite, tunnettu siitä, että näyttölaite (6) on henkilökohtainen näyttövisiiri tai sen tapainen, jossa näyttöpinta (7) on silmän polttopistekeskinen puolipallon näyttöpinta.

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen näyttö-  
 laite, tunnettu siitä, että näyttövisiiriin tai  
 sen tapaiseen kuuluu kaksi silmän polttopistekeskistä  
 puolipallonäyttöpintaa (7), yksi kumpaakin silmää var-  
 5 ten stereokuvien katselua varten.

22. Jonkin patenttivaatimuksista 1 - 17 mukai-  
 nen näyttölaite, tunnettu siitä, että näyttöpinta  
 (7) muodostuu matriisista yksittäisiä kuvaelementtejä.

23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen näyttölai-  
 10 te, tunnettu siitä, että kuvaelementtien lukumää-  
 rä on suuruusluokkaa 100000 tai suurempi.

24. Patenttivaatimuksen 23 mukainen näyttö-  
 laite, tunnettu siitä, että kuvaelementtien luku-  
 määrä on valittu siten, että kohtuullisen kuvanlaadun  
 15 aikaansaamiseksi lukumäärä on suuruusluokkaa  $10^4$  -  
 $3 \times 10^4$ , hyvän kuvanlaadun aikaansaamiseksi suuruusluok-  
 kaa  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , tai täydellisen kuvanlaadun aikaansaa-  
 miseksi suuruusluokkaa  $10^8$ .

25. Jonkin patenttivaatimuksista 22 - 24 mu-  
 20 kainen näyttölaite, tunnettu siitä, että kuvaele-  
 mentit on järjestetty näyttöpinnalle (7) siten, että  
 niiden tiheys on optisella pääakselilla (L) maksimis-  
 saan ja pienenee optiselta pääakselilta reuna-alueille  
 päin.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen näyttölai-  
 te, tunnettu siitä, että puolipallonäyttöpinnan  
 (7) kuvaelementit ovat reuna-alueilla pinta-alaltaan  
 suurempia kuin pääakselin (L) läheisyydessä.

27. Patenttivaatimuksen 25 tai 26 mukainen  
 30 näyttölaite, tunnettu siitä, että kuvaelementtien  
 tiheysjakauma näyttöpinnalla noudattaa funktiota:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

missä

$I_0$  = kuvaelementtien tiheys origossa (pääakse-  
 35 lilla),

$I(r)$  = kuvaelementtien paikallinen tiheys säteellä  $r$  origosta, ja

$a$  = skaalauskerroin.

28. Jonkin patenttivaatimuksista 22 - 27 mukainen näyttölaite, tunnettu siitä, että kuvaelementit on toteutettu kuituoptiikalla.
- 5

## (57) TIIVISTELMÄ

Keksinnön kohteena on kamerajärjestelmä ja näyttölaite kamerajärjestelmän taltioimien kuvien näyttämiseksi. Kamerajärjestelmään kuuluu kamera, jossa on optiikka (1), ja valonherkkä kuvapinta (2), joka on järjestetty optiikan läheisyyteen symmetrisesti sen optisen pääakselin suhteen ja johon kuvapintaan optiikan taittama kohteen kuva kuvantuu. Valonherkkä kuvapinta on kovera pallopinta, jonka kaarevuuskeskipiste on optiikan polttopisteessä.

(kuva 1)

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
30 November 2000 (30.11.2000)

PCT

(10) International Publication Number  
**WO 00/72089 A1**

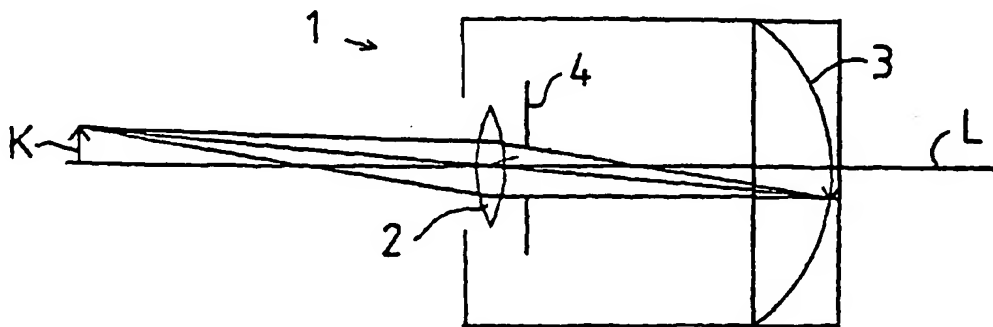
- (51) International Patent Classification<sup>7</sup>: **G03B 19/00**, (74) Agent: PAPULA OY; P.O. Box 981, (Fredrikinkatu 61 A),  
21/00 // H04N 13/00, G03B 1/42 FIN-00101 Helsinki (FI).
- (21) International Application Number: PCT/FI00/00420 (81) Designated States (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE,  
(22) International Filing Date: 10 May 2000 (10.05.2000) DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,  
(25) Filing Language: Finnish LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ,  
PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT,  
(26) Publication Language: English TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (30) Priority Data: 991086 11 May 1999 (11.05.1999) FI (84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GH, GM,  
KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent  
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent  
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU,  
MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (71) Applicant (*for all designated States except US*):  
TEKNILLINEN KORKEAKOULU [FI/FI]; P.O.  
Box 1000, FIN-02015 Tkk (FI).
- (72) Inventor; and  
(75) Inventor/Applicant (*for US only*): SAARELMA, Hannu  
[FI/FI]; Teknillinen Korkeakoulu, Viestintätekniikan Lab-  
oratorio, P.O. Box 6400, FIN-02015 Tkk (FI).

**Published:**

— With international search report.

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: CAMERA SYSTEM AND DISPLAY DEVICE



(57) Abstract: The invention relates to a camera system and to a display device for displaying images recorded by the camera system. The camera system comprises a camera (1) provided with an optics system (2) and a photosensitive image surface (3) disposed near the optics symmetrically relative to its optic axis, the image refracted by the optics being projected onto said image surface. The photosensitive image surface is a concave spherical surface whose center of curvature is at the focal point of the optics.

WO 00/72089 A1

3/PRTS

10/018283  
JC05 Rec'd PCT/PTO 0 8 NOV 2001

WO 00/72089

PCT/F100/00420

## CAMERA SYSTEM AND DISPLAY DEVICE

The present invention relates to a camera system as defined in the preamble of claim 1. Moreover, the invention relates to a display device as defined in claim 17.

Photography was invented in the early part of the 19<sup>th</sup> century. Fairly soon, silver halides (AgBr, AgCl) were distinguished from the spectrum of light-sensitive materials as they were found to be light-sensitive when dispersed in gelatin. The dispersion was spread on a glass plate, which formed the photosensitive projection surface of the camera. The glass plate was a straight plate, and an optical system was developed which focused the image onto the plate even through apertures larger than a pinprick.

The glass plate was followed by the film, the film was followed by the vidicon, and the vidicon was followed by the digital matrix. However, the image plane still remains a plane both in cameras for still pictures and those for moving pictures. In azimuthal projection, the illumination on the projection surface is proportional to the square of the angle of deflection as measured from the optical axis:

$$I = (L \cos^4 \phi) / 4f(1 + m)^2$$

25

where

$I$  is intensity at image plane,

$L$  is luminance at target,

$\phi$  is the angle of a focus-originated radius to the optical axis,

30

$f$  is the aperture number, and

$m$  is the conversion factor.

Especially in the case of wide-angle optics, problems are encountered in respect of uniformity of illumination in the image area. Further, wide-angle images with an angular field of the lens exceeding 100° are difficult to accomplish without substantial distortion of straight lines.



In prior art, both of the above-mentioned errors have been corrected by way of digital image processing.

The object of the invention is to eliminate the drawbacks referred to above.

A specific object of the invention is to disclose a camera system and a corresponding display device that will make it possible to produce a wide-angle image in which illumination is uniform over the entire image area and no lines in the image area are distorted.

As for the features characteristic of the camera and display device of the invention, reference is made to the claims.

The camera system of the invention comprises a camera provided with an optics system and a photosensitive image surface disposed in the vicinity of the optics system symmetrically relative to its optic axis, the image of the target refracted by the optics being projected onto said image surface.

According to the invention, the photosensitive image surface is a concave spherical surface whose center of curvature is at the focus of the optics. The camera of the invention projects the image onto the concave, focus-centered spherical surface, which functions as a light detector and may consist of light-sensitive detecting elements.

The camera system of the invention does not exhibit any anisotropy or geometric distortion, which are typical of conventional photographic techniques. The invention makes it possible to implement different focal distances up to a 180° observation angle.

The invention has the advantage that, when a normal focal distance is used, with a 60° angular field of the lens, the cosine error is avoided. Therefore, the isotropy of the image in respect of illumination is significantly better than in prior-art cam-

eras. This is important in various image analysis applications in which the reflection density and color are used as a basis for making inferences about the target being analyzed.

5           When short focal distances (up to a 180° recording angle) are used, the invention has the advantage of eliminating the geometric distortions typical of current optical systems. When pictures are to be  
10           printed and/or displayed using traditional planar display surfaces, suitable rectangular undistorted areas can be cut off from the image by using appropriate software. When a display device according to the invention is used in which the display surface is a concave spherical surface, no geometric distortions appear.  
15

          When long focal distances are used, the visual effect that shortens the relative distances is eliminated.

20           In an optical sense, projecting the image onto a spherical surface is a less demanding task than conventional planar projection. Therefore, the cost of manufacturing an optical equipment free of aberrations for the system of the invention is lower than in the case of conventional optics.

25           In an embodiment of the camera system, the photosensitive image surface consists of a matrix of individual light-sensitive detecting elements, such as CCD elements.

30           In an embodiment of the camera system, the number of detecting elements is of the order of 100000 or more.

          In an embodiment of the camera system, the number of detecting elements has been so chosen that, in order to achieve a reasonable image quality, the  
35           number is of the order of  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

In an embodiment of the camera system, the detecting elements are so arranged on the image surface that their density is at a maximum on the principal axis and diminishes from the principal axis toward the edge zones.

In an embodiment of the camera system, the density distribution of the detecting elements on the image surface is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2}, \text{ where}$$

$I_0$  = density of detecting elements at the origin (on the principal axis),

$I(r)$  = local density of detecting elements at radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

In an embodiment of the camera system, the detecting elements in the high-resolution area near the optic axis are so arranged that the point spread function (PSF) produced by the optics integrates over several detecting elements to prevent aliasing.

In an embodiment of the camera system, the optics are of a type using a so-called normal focal distance and the image surface is a spherical calotte with a recording angle ( $\alpha$ ) of the order of  $60^\circ$ ; and the camera comprises a shutter disposed between the optics and the image surface and provided with an adjustable aperture.

In an embodiment of the camera system, the recording angle of the image surface is  $180^\circ$  or less.

In an embodiment of the camera system, the optics comprise a lens with a short focal distance, such as a so-called fish-eye lens; the image surface is of a hemispherical shape and the recording angle is  $180^\circ$ , so that the camera is of a semispace recording type.

In an embodiment of the camera system, the camera is a digital camera which comprises means for

digitization of the signals received from the detecting elements and means for transferring the digitized images to a computer. The image can be processed, transferred and printed in a digital form. The images  
5 can be displayed using a spherical surface display as mentioned above or conventional display devices. They can also be printed in an undistorted form on paper using image printers.

In an embodiment of the camera system, the  
10 camera is of a type designed to record moving pictures.

In an embodiment of the camera system, the camera is of a type designed to record still pictures.

In an embodiment of the camera system, the  
15 camera is a monitoring camera.

In an embodiment of the camera system, the system comprises two semispace recording cameras directed in opposite directions to the record the whole space.

20 In an embodiment of the camera system, the system comprises two adjacent semispace recording cameras directed in the same direction for the recording of a stereo image of the semispace.

According to the invention, the display surface of the display device used for the display of an  
25 image recorded using the above-mentioned camera system is a concave spherical surface.

The display device has the advantage that the illumination in the image is uniform over the entire  
30 image area and the image is geometrically undistorted, thus requiring no corrective processing regarding the luminance level or contours of the picture.

In an embodiment of the display device, the display device is a monitor, such as a computer monitor or a television, having a screen of the shape of a  
35 concave spherical calotte.

In an embodiment of the display device, the display surface is a wall or ceiling surface of a room, onto which the image can be projected so as to allow it to be viewed simultaneously by a plurality of  
5 persons.

In an embodiment of the display device, the display device is a personal display visor or the like, in which the display surface is a hemispherical display surface having its center at the focal point  
10 of the eye.

In an embodiment of the display device, the display visor or the like comprises two hemispherical display surfaces having their centers at the focal points of the eyes, one display surface for each eye  
15 for the viewing of stereo pictures.

In an embodiment of the display device, the display surface consists of a matrix of individual picture elements.

In an embodiment of the display device, the  
20 number of picture elements is of the order of 100000 or more.

In an embodiment of the display device, the number of picture elements has been so chosen that, in order to achieve a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , to achieve a good  
25 image quality, of the order of  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

In an embodiment of the display device, the picture elements are so arranged on the display surface that their density is at maximum on the optic  
30 axis and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

In an embodiment of the display device, the picture elements of the hemispherical display surface  
35 are larger in surface area in the edge zones than in the vicinity of the principal axis.

In an embodiment of the display device, the density distribution of the picture elements on the display surface is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

5

where

$I_0$  = picture element density at the origin (on the principal axis),

$I(r)$  = local picture element density at radius  $r$  from the origin, and

10

$a$  = scaling factor.

In an embodiment of the display device, the picture elements are implemented using fiber optics.

Cameras and display devices constructed according to the invention are very well suited for use in robotics applications with a visual capacity. As there are no line distortions, corresponding correction computation is avoided. As there are no structural illumination differences between the optic axis and the peripheral image areas, the interpreting computation produces more accurate results than when a traditional camera is used. Cameras and display devices constructed according to the invention are also very well applicable for use in simulators in which stimuli are created artificially for the entire visual field (e.g. flight simulator). Similarly, it is possible to produce entertainment and computer game material that gives a person a sensation of being virtually present in the situation photographed by the camera and reproduced by the spherical display. Using a pair of adjacent cameras, it is possible to generate a three-dimensional perception that fills the entire field of vision.

In the following, the invention will be described in detail by the aid of a few examples of its embodiments with reference to the drawings, wherein

Fig. 1 presents a skeleton diagram of a first embodiment of the camera system of the invention,

Fig. 2 presents a skeleton diagram of a second embodiment of the camera system of the invention,

5 Fig. 3 presents a diagram illustrating the prevention of aliasing by means of the optics at points where the density of picture elements is at a maximum,

10 Fig. 4 presents a diagram illustrating a monitoring camera application of the camera system of the invention for the monitoring of a semispace in a room,

15 Fig. 5 presents a diagram illustrating a monitoring camera application of the camera system of the invention for the monitoring of the whole space in an open area,

20 Fig. 6 presents a diagram of a first embodiment of the display device of the invention, i.e. a spherical calotte type monitor or television and an optimal viewing line for it,

Fig. 7 presents a diagram of a second embodiment of the display device of the invention that allows the display of images to a plurality of viewers,

25 Fig. 8 presents a third embodiment of the display device of the invention, which is a personal display device for the display of stereo pictures,

30 Fig. 9 presents a diagram representing a fourth embodiment of the display device of the invention, which is a personal display device for the display of mono pictures.

Fig. 1 shows a camera 1 which comprises optics 2 with a so-called normal focal distance, presented in the figure as a simple lens. The camera 1 further comprises a photosensitive image surface 3, 35 which is a concave spherical surface, onto which the optics 2 project the image of the target. The center of curvature of the image surface 3 is at the focal

point of the optics 2 on the optic axis L. With a lens 2 with a normal focal distance, a  $60^\circ$  recording angle is obtained, so the camera may have an image surface the shape of a spherical calotte. The camera further comprises a shutter 4 provided with an adjustable aperture and disposed near the lens 2, between the lens 2 and the image surface 3.

The optics 2 in the camera 1 in Fig. 2 comprise a lens 5 with a short focal distance, a so-called fish-eye lens. The image surface 3 is of a hemispherical shape, so the camera is a semispace recording type of camera. The figure illustrates the projection of three targets I, I, III onto the hemispherical image surface. The recording angle is  $180^\circ$ . The picture of target I on the principal axis L is recorded on the image surface 3 on the principal axis L. Targets II and III, located on opposite sides at angles of  $90^\circ$ , are projected onto the edges of the hemispherical image surface.

The cameras in Fig. 1 and 2 are preferably digital cameras capable of both still and moving image photography. The image surface 3 of the camera 1 is composed of individually placed digital detecting elements or it may be constructed using fiber optics. A reasonable image quality is achieved using about 100 000 - 300 000 detecting elements on the image surface 3. A good image quality is achieved using about 1 - 2 million detecting elements. If perfect image quality is desired, then the number of detecting elements should be of the order of  $10^8$ .

In cameras with a recording angle of  $180^\circ$  of the image surface 3 as illustrated in Fig. 2, which can see an entire semispace, with corresponding display devices, the position of the optic axis L corresponds to the point of sharp vision in the human eye while the edge zones correspond to the less sharp peripheral vision. Therefore, the density of detecting



elements on the image surface 3 may vary so that the density is at a maximum in the region of the optic axis, i.e. the resolution is high, being reduced towards the edge zones, where the resolution is lower.

5 For example, the Gaussian detecting element density distribution roughly corresponds to the frequency of utilization of the information when the image is being viewed. Other distributions are also possible. A varying detecting element density is suited for use e.g.  
10 in a remote control application in which a camera according to the invention installed on a robot photographs a real target while a person controlling the robot is watching the image produced by the camera, using a display device according to the invention. The  
15 distribution of the detecting element density on the image surface 3 may be e.g. as given by the following function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

20  $I_0$  = detecting element density at the origin  
(on the principal axis),  
 $I(r)$  = local detecting element density at radius  $r$  from the origin, and  
 $a$  = scaling factor.

25 If the shooting frequency of the camera is higher than half the sensor frequency, this will result in a so-called aliasing effect, in consequence of which, when the frequency increases, MTF, having  
dropped to zero, receives high positive values at  
30 higher frequencies. Especially when structured objects are being photographed, this causes a substantial deterioration of image quality. Aliasing can be avoided in the high-resolution portions of a variable-  
resolution camera by using an arrangement as illustrated in Fig. 3. The point spread function PSF of the  
35

optics is so adapted that it will integrate over a few adjacent detecting elements.

Fig. 4 and 5 illustrate the use of a semispace recording camera as presented in Fig. 2 as a wide-angle monitoring camera. Unlike previously known cameras which need to be moved to scan the surroundings, a camera like this can be fixedly and immovably mounted on the wall or ceiling of a room as shown in Fig. 4. When used e.g. as a monitoring camera in a bank, such an immovable camera is unnoticeable and difficult to detect. By using a pair of cameras looking in opposite directions as in Fig. 5, the whole open space around ( $2 \times$  semispace) can be monitored. Using a single camera, a geometrically undistorted picture of the semispace is produced by a single shot without moving the camera. Using two semispace recording cameras directed in the same direction, it is possible to produce stereo pictures to create a three-dimensional impression.

Pictures taken with the camera of the invention can be viewed as normal planar copies by using a planar display or making a planar print-out. It is also possible to construct special display devices as presented in Fig. 6 - 9 for the viewing of pictures taken with the camera 1. In a display device 6 like this, the display surface 7 on which the pictures are viewed is a concave spherical surface.

Fig. 6 presents an embodiment in which the display device 6 is a monitor, such as a computer monitor or television, whose display screen is a display surface 7 having the shape of a concave spherical calotte. For this device, a preferable viewing distance is twice the radius  $r$  of the spherical calotte. The optimal viewing line is indicated by a broken line 8.

Referring to Fig. 7, in an application for a plurality of viewers, the display surface 7 may also

consist of a hemispherical wall or ceiling surface in a room (omni-theater), onto which the image can be projected for simultaneous viewing by several persons.

Fig. 8 and 9 present a display device 6 which is a personal display visor, display helmet or the like, in which the display surface 7 is a hemispherical display surface whose center is at the focal point of the eye. This device can be used e.g. for the presentation of virtual reality in entertainment and game applications and as a helmet display e.g. for air pilots.

In Fig. 8, the display visor or the like comprises two hemispherical display surfaces 7 having their centers at the focal points of the eyes, one display surface for each eye, for the viewing of stereo pictures, producing a three-dimensional impression.

In Fig. 9, the display visor is provided with a mono display with a single hemispherical display surface 7.

The display surface 7 in the display devices may consist of a matrix of individual picture elements. The number of picture elements has been so chosen that, to produce a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4 - 3 \times 10^4$ , to produce a good image quality, of the order of  $10^6 - 2 \times 10^6$ , or to produce a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

When the input device used is a variable-resolution camera, the display device can be constructed as a variable-resolution display. In a  $180^\circ$  display, the peripheral areas are implemented using fewer but larger picture elements, but so that they correspond to the high-resolution area in respect of image energy (= area of picture element  $\times$  maximum luminance).

In a variable-resolution display device 6, the picture elements may be so arranged on the display

surface 7 that their density is at a maximum on the principal axis L, diminishing from the principal axis toward the edge zones. The density distribution of the picture elements on the display surface is as expressed by the function:

$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = picture element density at the origin (on the principal axis),

10  $I(r)$  = local picture element density at radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

The invention is not restricted to the examples of its embodiments described above; instead, many variations are possible within the scope of the inventive idea defined in the claims.

15

## CLAIMS

1. Camera system comprising a camera (1) provided with an optics system (2) and a photosensitive image surface (3) disposed near the optics system symmetrically relative to its optic axis (L), the image refracted by the optics being projected onto the image surface, characterized in that the photosensitive image surface (3) is a concave spherical surface whose center of curvature is at the focal point of the optics (2).

2. Camera system as defined in claim 1, characterized in that the photosensitive image surface (3) consists of a matrix of individual photosensitive detecting elements, such as CCD elements.

3. Camera system as defined in claim 2, characterized in that the number of detecting elements is of the order of 100000 or higher.

4. Camera system as defined in claim 3, characterized in that the number of detecting elements has been so chosen that, to achieve a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4 - 3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6 - 2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

5. Camera system as defined in claim 3 or 4, characterized in that the detecting elements are so arranged on the image surface (3) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

6. Camera system as defined in claim 5, characterized in that the density distribution of the detecting elements on the image surface (3) is consistent with the function:

$$I(r) = I_0 e^{-\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0}\right)^2}$$

where

$I_0$  = density of detecting elements at the origin (on the optic axis),

$I(r)$  = local density of detecting elements at

radius  $r$  from the origin, and

$a$  = scaling factor.

5  
7. Camera system as defined in any one of claims 1 - 6, characterized in that the optics (2) has been so arranged that, in the high-resolution area near the optic axis (L), the point spread function (PSF) produced by the optics integrates over several detecting elements to prevent aliasing.

10  
8. Camera system as defined in any one of claims 1 - 7, characterized in that the optics (2) is of a type having a so-called normal focal distance and the image surface (3) is a spherical cap with a recording angle of the order of  $60^\circ$ ; and that the camera comprises a shutter (4) disposed between the optics and the image surface and provided with an adjustable aperture.

20  
9. Camera system as defined in any one of claims 1 - 8, characterized in that the recording angle of the image surface (3) is  $180^\circ$  or less.

25  
10. Camera system as defined in any one of claims 1 - 9, characterized in that the optics (2) comprises a lens (5) with a short focal distance, such as a so-called fish-eye lens; that the image surface (3) is of a hemispherical shape and the recording angle is  $180^\circ$ , the camera thus being of a semispace recording type.

30  
11. Camera system as defined in any one of claims 1 - 10, characterized in that the camera (1) is a digital camera which comprises means for digitization of the signals received from the de-

tecting elements and means for transferring the digitized images to a computer.

12. Camera system as defined in any one of claims 1 - 11, characterized in that the  
5 camera (1) is of a type for recording moving pictures.

13. Camera system as defined in any one of claims 1 - 12, characterized in that the camera (1) is of a type for recording still pictures.

14. Camera system as defined in any one of  
10 claims 1 - 13, characterized in that the camera (1) is a monitoring camera.

15. Camera system as defined in any one of claims 1 - 14, characterized in that the system comprises two semispace recording cameras (1)  
15 directed in opposite directions for the recording of the whole space.

16. Camera system as defined in any one of claims 1 - 15, characterized in that the system comprises two adjacent semispace recording cameras (1) directed in the same direction for the re-  
20 cording of a stereo image of the semispace.

17. Display device (6) for displaying an image recorded by a camera system as defined in any one of claims 1 - 16 on the display surface (7) of the  
25 display device, characterized in that the display surface (7) is a concave spherical surface.

18. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display device (6) is a monitor, such as a computer monitor or a televi-  
30 sion, the screen of which is a display surface (7) having the shape of a concave spherical calotte.

19. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display surface (7) is a wall or ceiling surface of a room, onto which  
35 an image can be projected so as to allow it to be viewed simultaneously by a plurality of persons.

20. Display device as defined in claim 17, characterized in that the display device is a personal display visor or the like, in which the display surface (7) is a hemispherical display surface having its center at the focal point of the eye.

21. Display device as defined in claim 20, characterized in that the display visor or the like comprises two hemispherical display surfaces (7) with their centers at the focal points of the eyes, one display surface being provided for each eye for the viewing of stereo images.

22. Display device as defined in any one of claims 1 - 17, characterized in that the display surface (7) consists of a matrix of individual picture elements.

23. Display device as defined in claim 22, characterized in that the number of picture elements is of the order of 100000 or higher.

24. Display device as defined in claim 23, characterized in that the number of picture elements has been so chosen that, in order to achieve a reasonable image quality, the number is of the order of  $10^4$  -  $3 \times 10^4$ , to achieve a good image quality, of the order of  $10^6$  -  $2 \times 10^6$ , or to achieve a perfect image quality, of the order of  $10^8$ .

25. Display device as defined in any one of claims 22 - 24, characterized in that the picture elements are so arranged on the display surface (7) that their density is at a maximum on the optic axis (L) and diminishes from the optic axis toward the edge zones.

26. Display device as defined in claim 25, characterized in that the picture elements of the hemispherical display surface (7) are larger in surface area in the edge zones than in the vicinity of the optic axis (L).



27. Display device as defined in claim 25 or 26, characterized in that the density distribution of the picture elements on the display surface is consistent with the function:

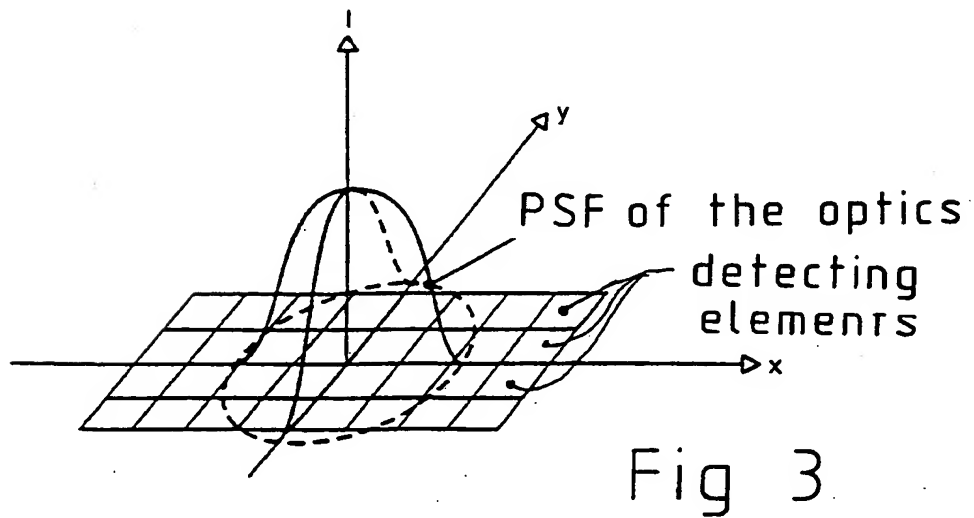
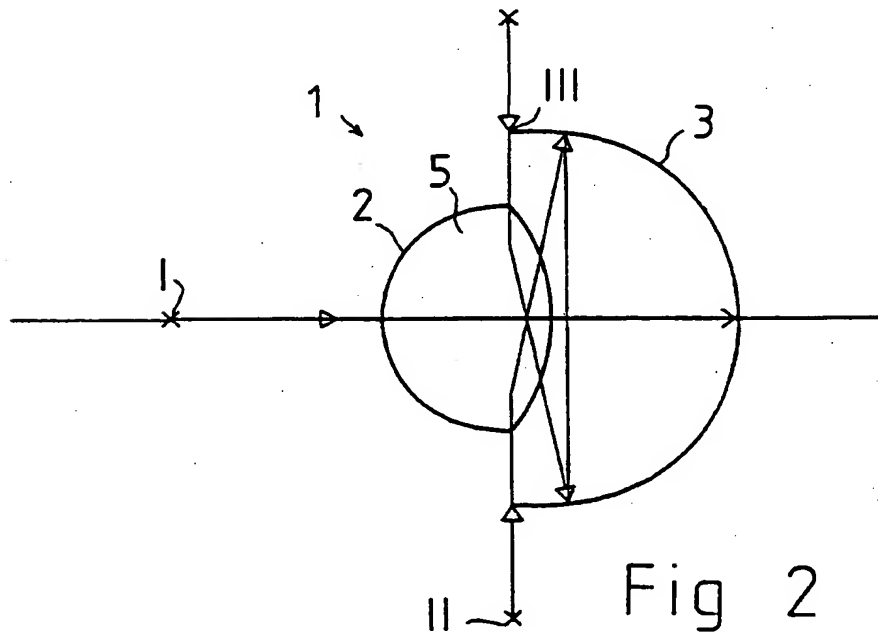
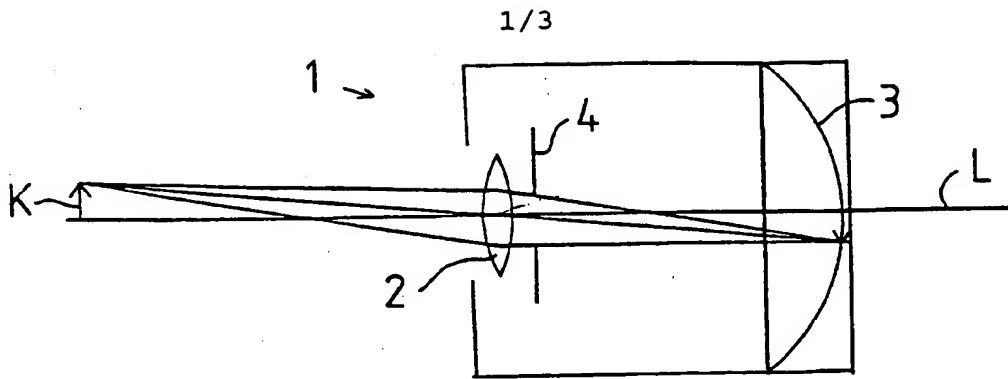
5 
$$I(r) = I_0 e^{-a \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{r_0} \right)^2},$$

where

$I_0$  = picture element density at the origin (on the optic axis),

10  $I(r)$  = local picture element density at radius  $r$  from the origin, and  
 $a$  = scaling factor.

28. Display device as defined in any one of claims 22 - 27, characterized in that the picture elements are implemented using fiber optics.



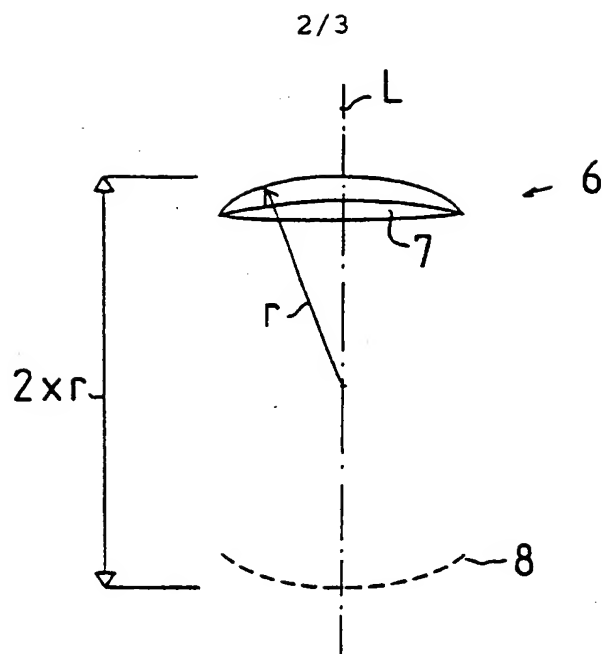


Fig 6

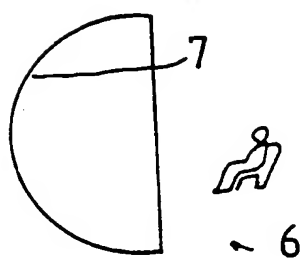


Fig 7

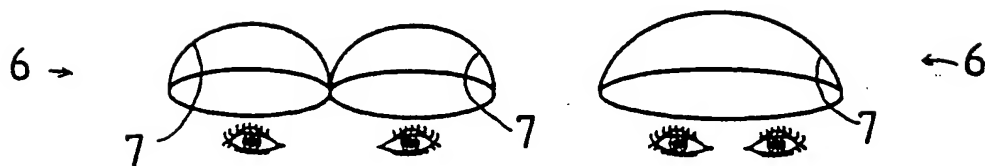


Fig 8

Fig 9

3/3

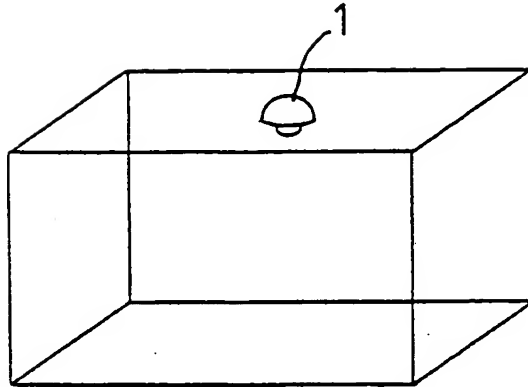


Fig 4

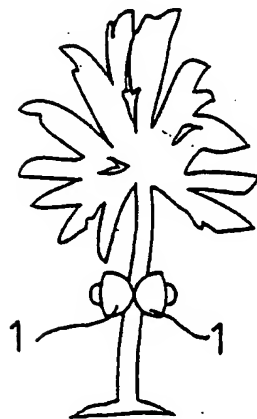


Fig 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FI 00/00420

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC7: G03B 19/00, G03B 21/00 // H04N 13/00, G03B 1/42  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC7: G03B, G02B, H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

SE,DK,FI,NO classes as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 19649281 A1 (KRAUSE, DIETER), 24 April 1997 (24.04.97), column 2 - column 3, claims 2,5	1,2,11-14, 17,18
A	--	3-10,15,16, 19-27
A	FR 2741960 A3 (LOISON DANIEL), 6 June 1997 (06.06.97)	1-27
A	EP 0458463 A1 (HUGHES AIRCRAFT COMPANY), 27 November 1991 (27.11.91)	1-27
	--	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 August 2000

Date of mailing of the international search report

24 -08- 2000

Name and mailing address of the ISA/  
Swedish Patent Office  
Box 5055, S-102 42 STOCKHOLM  
Facsimile No. +46 8 666 02 86

Authorized officer

Björn Kallstenius / JA A  
Telephone No. +46 8 782 25 00

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FI 00/00420

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 1439152 A (RENE HERVIEU), 9 June 1976 (09.06.76)  --	1-27
A	DE 2629233 A1 (MIXED-MEDIE STUDIO KG), 29 December 1977 (29.12.77)  -- -----	1-27

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

02/12/99

International application No.  
PCT/FI 00/00420

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE	19649281	A1	24/04/97	NONE	
FR	2741960	A3	06/06/97	FR 2741961 A,B	06/06/97
EP	0458463	A1	27/11/91	CA 2040272 A	08/11/91
				IL 97863 D	00/00/00
				JP 4226448 A	17/08/92
				US 5071209 A	10/12/91
GB	1439152	A	09/06/76	NONE	
DE	2629233	A1	29/12/77	NONE	